

BEST AVAILABLE COPY

**Verfahren und Vorrichtung zur Kompensation von in einem Netz auftretenden
Netzspannungsverzerrungen(A1 C2) Verfahren und Vorrichtung zur
Kompensation von in einem Netz auftretenden Netzspannungsverzerrungen**

Patent number: DE19738125

Publication date: 1999-03-04

Inventor: WEINHOLD MICHAEL DR. ING (DE); ZUROWSKI RAINER DIPLOM ING (DE); SONNENSCHEIN MARTIN DIPLOM ING (DE)

Applicant: SIEMENS AG (DE)

Classification:

- **international:** H02J3/01; H02M1/12

- **european:** H02J3/18C3A

Application number: DE19971038125 19970901

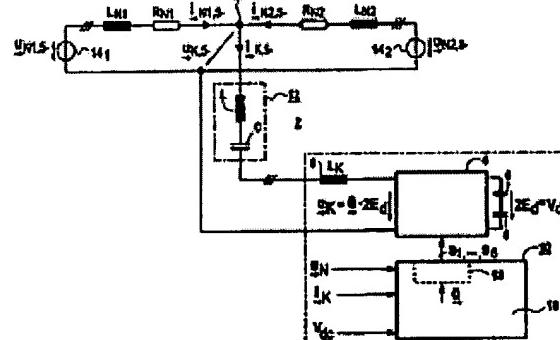
Priority number(s): DE19971038125 19970901

Also published as:

WO9912243 (A1)
EP1010231 (A1)
CA2302498 (A1)

Abstract of DE19738125

The invention refers to a method and device for offsetting network voltage (14) distortions ($u_{N,v+/-}$), involving a pulsating current rectifier (4) and an active filter (2) comprising a coupling device for LC oscillatory circuits. According to the invention, at least one complex amplitude ($\langle u \rangle u \langle /u \rangle N, v+/-$) and at least one distortion of the network voltage ($u_{N,v+/-}$), from which a space vector for the partial transfer ratio ($\hat{u}v+/-$) and a space vector for the partial transfer ratio ($\hat{u}h$) are determined depending on the real value of the transfer circuit voltage (V_{dc}) in the pulsating current rectifier (4), while control signals (S_1, \dots, S_6) intended for the pulsating current rectifier are generated on the basis of a space vector for the partial transfer ratio (\hat{u}), obtained from the space vectors for the partial transfer ratio ($\hat{u}v+/-, \hat{u}h$). As a result, the active filter (2) operated, in on connecting point (20) on the network (14), as a complex low impedance resistor for higher harmonics to be mitigated ($u_{N,v+/-}$), and the capacitive accumulator (6) in the pulsating current rectifier (4) is adjusted according to a set a nominal value for the transfer circuit voltage ($V_{dc\text{coll}}$).



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



⑩ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 197 38 125 A 1

⑥ Int. Cl.⁶:
H 02 J 3/01
H 02 M 1/12

DE 197 38 125 A 1

⑪ Aktenzeichen: 197 38 125.1
⑫ Anmeldetag: 1. 9. 97
⑬ Offenlegungstag: 4. 3. 99

⑪ Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

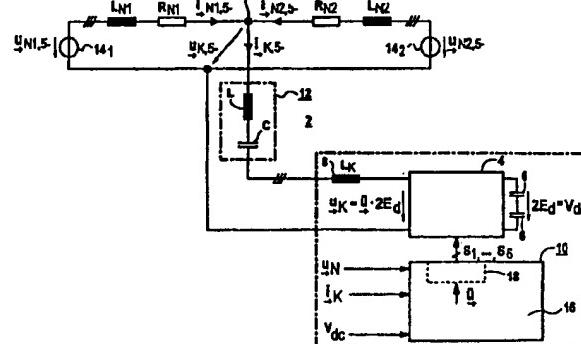
⑫ Erfinder:
Weinhold, Michael, Dr.-Ing., 91056 Erlangen, DE;
Zurowski, Rainer, Dipl.-Ing., 91301 Forchheim, DE;
Sonnenschein, Martin, Dipl.-Ing., 45525 Hattingen,
DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

④ Verfahren und Vorrichtung zur Kompensation von in einem Netz auftretenden Netzspannungsverzerrungen

⑤ Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kompensation von in einem Netz (14) auftretenden Netzspannungsverzerrungen (15-18) mittels eines einen Pulsstromrichter (4) und eine LC-Schwingkreis-Ankopplung (22) aufweisenden aktiven Filters (2). Erfindungsgemäß werden wenigstens eine komplexe Amplitude (15-18) und wenigstens eine Netzspannungsverzerrung (15-18) ermittelt, aus denen ein Teilübertragungsverhältnis-Raumzeiger (19) und ein Teilübertragungsverhältnis-Raumzeiger (20) in Abhängigkeit eines ermittelten Zwi-schenkreis-Spannungs-Istwerts (V_{dc}) des Pulsstromrichters (5) bestimmt werden, und werden Steuersignale (S_2 , ..., S_6) für den Pulsstromrichter (5) aus einem aus dem Teilübertragungsverhältnis-Raumzeigern (19-20) gebildeten Gesamtübertragungsverhältnis-Raumzeiger (21) gebildet. Somit wirkt das aktive Filter (3) an einem Verknüpfungspunkt (30) im Netz (25) für die zu bedämpfenden Ober-schwingungen (15-18) wie ein komplexer Widerstand mit geringer Impedanz und der kapazitive Speicher (7) des Pulsstromrichters (5) wird auf einen vorbestimmten Zwi-schenkreis-Spannungs-Sollwert ($V_{dc\text{ soll}}$) geregelt.



DE 197 38 125 A 1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kompensation von in einem Netz auftretenden Netzeinstromverzerrungen mittels eines einen Pulsstromrichter mit kapazitivem Speicher und einer LC-Schwingkreis-Ankopplung aufweisenden aktiven Filters.

Zur Filterung von Oberschwingungen wurden bisher passive Filter eingesetzt, die auf die entsprechende zu filternde Frequenz abgestimmt sind. Durch die starke Verbesserung und Verbilligung von Leistungshalbleiterbauelementen werden verstärkt Pulsstromrichter als aktive Filter entwickelt und eingesetzt. Diese ersetzen entweder die passiven Filter vollständig oder verbessern in Kombination mit passiven Filtern die Charakteristik der passiven Filteranlage (Hybridfilter). Der Vorteil von aktiven Filtern gegenüber den passiven liegt insbesondere darin, daß die Filterwirkung eines aktiven Filters stufenlos einstellbar ist und sich aktive Filter vor Überlastung schützen können. Sie arbeiten dann entlang ihrer Bemessungsgrenze. Außerdem können durch die Regelung eventuell vorhandene Parallel- oder Serienresonanzen mit der Netzimpedanz vermieden werden. Die Eigenschaften eines aktiven Filters können im Falle eines digitalen Regelsystems recht einfach durch Umparametrierung der Regelparameter geändert werden.

In dem Aufsatz "NEW TRENDS IN ACTIVE FILTERS" von H. Akagi, abgedruckt im Konferenzband "EPE '95", Sevilla, S. 0.017 bis 0.026, wird der Stand des aktiven Filters vorgestellt. Dieser aktive Filter kann parallel zu einer Last oder seriell in eine Verbindungsleitung zwischen einem Netz und einer Last angeschlossen werden. Im erstgenannten Fall werden die Blindstromanteile im Laststrom ermittelt und mittels des aktiven Filters am Einspeisepunkt der Last abgesaugt, so daß das Netz von den Blindströmen entlastet ist. Bei der seriellen Ankopplung des aktiven Filters werden Netzeinstromverzerrungen des Netzes derart kompensiert, daß die Lastspannung von diesen Netzeinstromverzerrungen entlastet ist. Weiterhin werden Kombinationen jeweils mit einem aktiven Filter und einem passiven Filter und einer Kombination zweier aktiver Filter mit paralleler und serieller Ankopplung vorgestellt. Diesem Aufsatz ist außerdem zu entnehmen, daß das aktive Filter mit paralleler Ankopplung statt der Verarbeitung des Laststromes die Netzeinstromverzerrungen verarbeitet, wenn dieser aktive Filter mit paralleler Ankopplung in einem Verteilnetz angeschlossen wird.

In dem Aufsatz "HYBRID-ACTIVE FILTERING OF HARMONIC CURRENTS IN POWER SYSTEMS", abgedruckt in "IEEE/PES Winter Meeting", 1995, S. 1 bis 7, wird die Topologie und die Steuerung eines Hybridfilters, bestehend aus einem passiven und aktiven Filter, vorgestellt. Der aktive Filter weist einen Pulsstromrichter mit kapazitivem Speicher auf, der mittels eines Gleichrichters und eines Transformators an ein Wechselspannungsnetz angeschlossen ist. Der Pulsstromrichter ist mittels eines Ankopplungstransformators elektrisch in Reihe mit dem passiven Filter geschaltet. Das passive Filter weist mehrere LC-Schwingkreise auf, die jeweils auf eine Oberschwingung abgestimmt sind und dessen Impedanz kapazitiv ist. Mittels des Gleichrichters wird der kapazitive Speicher des Pulsstromrichters auf seinen Sollwert gesteuert. Als Eingangssignale der Regel- und Steuereinrichtung des aktiven Filters werden der Laststrom, die Netzeinstromverzerrung und die Filterspannung verwendet. Aus diesen Eingangssignalen werden verschiedene Stromanteile eines Filterstrom-Sollwertes ermittelt, die zum Filterstrom-Sollwert überlagert werden. Die Steuersignale für den Pulsstromrichter des aktiven Filters werden mittels einer Stromregeleinrichtung generiert, an deren Eingängen der ermittelte Filterstrom-Sollwert und ein gemessener Filterstrom-Istwert anstehen.

Aus der Veröffentlichung "Shunt-Connected Power Conditioner for Improvement of Power Quality in Distribution Networks", abgedruckt in "International Conference on Harmonics and Quality of Power", Las Vegas, Nevada, Oct. 16-18, 1996, ist ein Stufigverfahren für eine Kompensationseinrichtung mit paralleler Ankopplung bekannt. Diesem Konferenzbericht ist zu entnehmen, daß der Kompensatorspannungs-Raumzeiger aus der am kapazitiven Speicher abfallenden Spannung und einem Übertragungsverhältnis-Raumzeiger berechnet wird. Außerdem ist diesem Bericht zu entnehmen, daß der Übertragungsverhältnis-Raumzeiger aus mehreren Teilverhältnis-Raumzeigern zusammengesetzt werden kann. Ferner ist angegeben, wie die Teilübertragungsverhältnis-Raumzeiger bestimmt werden.

Diese Kompensationseinrichtung weist einen Pulsstromrichter mit wenigstens einem kapazitiven Speicher, einen Anpaßfilter und eine Regel- und Steuereinrichtung auf. Diese Kompensationseinrichtung ist elektrisch parallel zu einem nicht idealen Verbraucher geschaltet, der aus einem Netz versorgt wird. Der Regel- und Steuereinrichtung sind ein Netzeinstrom-Raumzeiger, ein Netzstrom-Raumzeiger und ein Zwischenkreis-Spannungs-Istwert, der an den beiden kapazitiven Speichern des Pulsstromrichters abfällt, zugeführt. Diese Raumzeiger werden mittels einer Raumzeiger-Transformationseinrichtung aus gemessenen Leiterspannungen und Netzströmen generiert. Die Regel- und Steuereinrichtung weist eine Regelungseinrichtung zur Bestimmung eines Übertragungsverhältnis-Raumzeigers und einen Pulsweitenmodulator auf. Der Übertragungsverhältnis-Raumzeiger ist die Stellgröße des Pulsstromrichters, die mittels des Pulsweitenmodulators in Steuersignale für diesen Pulsstromrichter umgewandelt wird.

Damit die gewünschte Filterwirkung des aktiven Filters sich einstellt, muß dieses aktive Filter am Verknüpfungspunkt für die zu bedämpfenden Oberschwingungen wie ein komplexer Widerstand mit geringer Impedanz wirken. Damit dient das Filter als Senke für die in der Nachbarschaft angeschlossenen Oberschwingungsquelle. Vorteilhaft wäre es, wenn das Filter sich wie ein Ohmscher Widerstand verhält und damit Oberschwingungen bedämpft. Dadurch ließen sich Resonanzeffekte zwischen dem Filter und dem Netz vermeiden.

Um dies zu erreichen, muß das aktive Filter in seinen Anschlußklemmen die zu filternden Oberschwingungen in der Netzeinstromverzerrung erfassen und in Phase zu den jeweiligen Oberschwingungen einen Strom aufnehmen. Die Größe des Stromes kann dabei durch Variation des Wertes des Ohmschen Widerstandes eingestellt werden. Im Idealfall bildet dann das aktive Filter für die ausgewählten Oberschwingungen einen Kurzschluß, so daß die ausgewählten Oberschwingungsverhältnisse am Verknüpfungspunkt des Filters zu Null werden.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens für einen aktiven Filter derart anzugeben, daß eine Spannungsdifferenz zwischen Netzeinstrom- und Pulsstromrichterspannung stationär einen gewünschten Filterstrom durch eine LC-Schwingkreis-Ankopplung treibt.

Diese Aufgabe wird erfundengemäß gelöst mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. Anspruchs 3.

Mittels diesem erfundengemäßen Verfahren wird ein Gesamtübertragungsverhältnis-Raumzeiger derart bestimmt, daß die Spannungsdifferenz zwischen Netzeinstrom- und Pulsstromrichterspannung stationär einen gewünschten Filterstrom durch eine LC-Schwingkreis-Ankopplung treibt. Dabei setzt sich der Gesamtübertragungsverhältnis-Raumzeiger aus mehreren Teilübertragungsver-

hältnis-Raumzeigern zusammen.

Mittels einem ersten Teilübertragungsverhältnis-Raumzeiger, der in Abhängigkeit einer ermittelten komplexen Amplitude einer im Netz vorhandenen Netzspannungsverzerrung bestimmt wird, wird in Abhängigkeit des Zwischenkreis-Spannungs-Istwertes eine Pulsstromrichter-Spannung generiert, die ein Filterstrom antreibt, der durch dessen Spannungsabfall an den Netzimpedanzen eine Netzspannungsverzerrung in der Netzspannung verschwinden läßt. Damit wirkt das aktive Filter für eine Netzspannungsverzerrung am Verknüpfungspunkt wie ein Kurzschluß.

Mittels des anderen Teilübertragungsverhältnis-Raumzeigers wird in der Pulsstromrichterspannung ein Verzerrungsanteil erzeugt, der gleich dem Netzspannungsverzerrungsanteil ist, der aus der Differenz zwischen Netzspannung und Netzspannungs-Grundschwingung ermittelt wird. Dadurch fließen keine unerwünschten Verzerrungsströme in das aktive Filter, so daß die gesamte Bauleistung des Pulsstromrichters zur Filterung von vorbestimmten Netzspannungsverzerrungen zur Verfügung steht.

Um weitere Stromrichterbauleistung zu sparen, muß die LC-Schwingkreis-Ankopplung die Netzspannungs-Grundschwingung vom Pulsstromrichter fernhalten und gleichzeitig eine niederohmige Ankopplung des Pulsstromrichters für eine zu filternde Netzspannungsverzerrung bieten. Diese Eigenschaften erfüllt eine LC-Schwingkreis-Ankopplung, deren Resonanzfrequenz beispielsweise nicht gleich der Frequenz der 5. Oberschwingung ist, sondern beispielsweise gleich der Frequenz der 4. Oberschwingung. Auf diese Weise wird der Pulsstromrichter nicht nennenswert mit der Netzspannungs-Grundschwingung belastet, so daß nahezu seine volle Bauleistung zur Oberschwingungsfilterung zur Verfügung steht. Durch diese Abstimmung der LC-Schwingkreis-Ankopplung ist die gesamte Impedanz zwischen Pulsstromrichter und Netz für eine zu filternde Netzspannungsverzerrung induktiv, so daß das Verfahren immer stabil ist.

Bei einem vorteilhaften Verfahren wird ein weiterer Teilübertragungsverhältnis-Raumzeiger ermittelt, der bei einer zu kleinen Zwischenkreis-Spannung des Pulsstromrichters gleichphasig und bei einer zu großen Zwischenkreis-Spannung gegenphasig zur Filterstrom-Grundschwingung ist. Dies hat eine Pulsstromrichter-Grundschwingungs-Spannung zur Folge, wodurch dem kapazitiven Speicher des Pulsstromrichters Energie zugeführt oder entzogen wird. Somit wird die Zwischenkreisspannung auf einen vorbestimmten Sollwert geregelt, so daß auf eine zusätzliche Energieversorgungseinrichtung für den kapazitiven Speicher des Pulsstromrichters verzichtet werden kann.

Zur weiteren Erläuterung des erfundungsgemäßen Verfahrens zur Kompensation von in einem Netz auftretenden Netzspannungsverzerrungen mittels eines aktiven Filters wird auf die Zeichnung Bezug genommen, in der ein Ausführungsbeispiel der Vorrichtung zur Durchführung des erfundungsgemäßen Verfahrens schematisch veranschaulicht ist:

Fig. 1 zeigt ein Blockschaltbild eines erfundungsgemäßen aktiven Filters, das einen Pulsstromrichter mit einer LC-Schwingkreis-Ankopplung aufweist, die

Fig. 2 zeigt den Aufbau einer Regeleinrichtung zur Generierung eines Gesamtübertragungsverhältnis-Raumzeigers, wobei in

Fig. 3 das Blockschaltbild eines Netzspannungsverzerrungs-Reglers der Regeleinrichtung nach Fig. 2 dargestellt ist, die

Fig. 4 zeigt das Blockschaltbild des Netzspannungsverzerrungs-Reglers nach Fig. 3 mit einer Strombegrenzung, die

Fig. 5 zeigt das Blockschaltbild einer Steuereinrichtung zur Verhinderung unerwünschter Filterströme der Regeleinrichtung nach Fig. 2, wobei die

Fig. 6 ein Blockschaltbild eines Gleichspannungsreglers der Regeleinrichtung des Pulsstromrichters darstellt.

Die Fig. 1 zeigt ein Blockschaltbild eines aktiven Filters 2, das einen Pulsstromrichter 4 mit wenigstens einem kapazitiven Speicher 6, einen Anpaßfilter 8 und eine Regel- und Steuereinrichtung 10 aufweist. Dieser Pulsstromrichter 4 ist mittels einer LC-Schwingkreis-Ankopplung 12 elektrisch parallel in einem größeren Netz 14, beispielsweise in einem Ringnetz, geschaltet. Von diesem Netz 14 sind nur zwei Netzbereiche 14₁, 14₂ dargestellt, in denen mehrere nicht näher dargestellte Oberschwingungserzeuger wirken. Der Regel- und Steuereinrichtung 10 sind ein Netzspannungs-Raumzeiger u_N , ein Filterstrom-Raumzeiger i_K , und ein Zwischenkreis-Spannungs-Istwert V_d , der an den beiden kapazitiven Speichern 6 des Pulsstromrichters 4 abfällt, zugeführt. Diese Raumzeiger u_N und i_K werden mittels einer Raumzeiger-Transformationseinrichtung, die nicht näher dargestellt ist, aus gemessenen Leiterspannungen und Filterströmen generiert. Das Anpaßfilter 8 ist hier ersatzweise durch eine Induktivität L_K dargestellt, wogegen in dem eingangs genannten Konferenzbericht von Las Vegas dieses Anpaßfilter 8 im Detail dargestellt ist. Die Regel- und Steuereinrichtung 10 weist eine Regeleinrichtung 16 zur Bestimmung eines Gesamtübertragungsverhältnis Raumzeigers \underline{u} und einen Pulsweitenmodulator 18 auf, der durch eine unterbrochene Linie dargestellt ist. Der Gesamtübertragungsverhältnis-Raumzeiger \underline{u} ist die Stellgröße des Pulsstromrichters 4, der mittels des Pulsweitenmodulators 18 in Steuersignale S_1, \dots, S_6 für diesen Pulsstromrichter 4 umgewandelt wird.

Die LC-Schwingkreis-Ankopplung 12 besteht aus einer Reienschaltung einer Drossel L und eines Kondensators C. Um die Bauleistung des Pulsstromrichters 4 zu reduzieren, muß diese LC-Schwingkreis-Ankopplung 12 die Eigenschaft haben, daß sie für die Netzspannungs-Grundschwingung $u_{N,1+}$ hochohmig und für die zu filternden Oberschwingungen $u_{N,vs}$ niederohmig wirken.

Soll zusätzlich die Grundschatzungsverschiebungsbildleistungsaufnahme dieser Ankopplung 12 so gering wie möglich sein, so ist der LC-Schwingkreis auf die zu filternden Oberschwingungen abzustimmen. Die Fig. 1 zeigt beispielhaft die Schaltung für ein aktives Filter, das eine Oberschwingung 5. Ordnung in der Netzspannung u_N filtern soll. Im Falle mehrerer zu filternder Oberschwingungen kann es vorteilhaft sein, mehrere geeignet abgestimmte LC-Schwingkreise parallel zu schalten. Diese LC-Schwingkreis-Ankopplung 12 ist in seiner Resonanzfrequenz so gewählt, daß die gesamte Impedanz zwischen Pulsstromrichter 4 und dem Verknüpfungspunkt 20 im Netz 14 für die zu filternde 5. Oberschwingung induktiv ist. Um eine weitere Bauleistungsreduktion des Pulsstromrichters 4 zu erreichen, muß die Ankopplung 12 die Netzspannungs-Grundrichtung $u_{N,1+}$ vom Pulsstromrichter 4 fernhalten und gleichzeitig eine niederohmige Ankopplung des Pulsstromrichters 4 für die zu filternden Oberschwingungen $u_{N,vs}$ bieten. Auf diese Weise wird der Pulsstromrichter 4 nur gering mit der Netzspannungs-Grundschwingung $u_{N,1+}$ belastet, und die volle Pulsstromrichterbauleistung steht zur Oberschwingungsfilterung zur Verfügung. Als Pulsstromrichter 4 wird in der Praxis aufgrund der hohen verfügbaren Schaltfrequenzen ein IGBT-Zweipunkt-Stromrichter mit einem Gleichspannungskreis gewählt. Aufgabe von Meßwertfassung, Regeleinrichtung 16 und Pulsweitenmodulator 18 ist es, den für die Filterung notwendigen Gesamtübertragungsverhältnis-Raumzeiger \underline{u} zwischen dem Zwischenkreis-Span-

nungs-Istwert V_{dc} und dem Pulstromrichter-Ausgangsspannung-Raumzeiger u_k zu erzeugen.

Soll das aktive Filter 2 als Senke für Oberschwingungen in den Netzbereichen 14_1 und 14_2 mit mehreren angeschlossenen, aber nicht näher dargestellten Oberschwingungsverzweigern u_{Nvz} wirken, so ist die einzige sinnvolle Regelstrategie diejenige, daß das Filter 2 nicht einen speziellen Laststrom filtert, sondern an dem Verknüpfungspunkt 20 für die Oberschwingungen u_{Nvz} wie ein niederohmiger Widerstand wirkt.

Der Fig. 1 ist zu entnehmen, daß auf beiden Seiten des Verknüpfungspunktes 20 Netzbereiche 14_1 und 14_2 des Netzes 14 zu sehen sind, die jeweils durch Netzanschlußimpedanzen R_{N1}, L_{N1} und R_{N2}, L_{N2} repräsentiert sind und die Anteile einer Verzerrungsspannung 5. Ordnung $u_{N1,5}$ und $u_{N2,5}$ aufweisen. Das Netz 14 enthält beliebige Oberschwingungsverzweiger, die ebenfalls über Netzimpedanzen angeschlossen sind und die Verzerrungsspannungen $u_{N1,5}$ und $u_{N2,5}$ beeinflussen. Am Verknüpfungspunkt 20 ergibt sich eine Filterspannung $u_{k,5}$. Da das aktive Filter 2 beispielsweise für die Filterung der 5. Oberschwingung regelt wird, ist dieses aktive Filter 2 für diese 5. Oberschwingung niederinduktiv und für alle anderen Frequenzen hochohmig. Durch das aktive Filter 2 fließt der Filterstrom $i_{k,5}$, der in Phase zur Filterspannung $u_{k,5}$ fließt und sich entsprechend der angeschlossenen Netzimpedanzen R_{N1}, L_{N1} und R_{N2}, L_{N2} aus den im Netzstrom enthaltenen Oberschwingungsströmen $i_{N1,5}$ und $i_{N2,5}$ zusammensetzt. Das aktive Filter 2, das einem Ohmschen Widerstand gleicht, nimmt damit einen Teil der im angeschlossenen Netz 14 auftretenden Oberschwingungsströme $i_{N1,5}$ und $i_{N2,5}$ auf, und zwar umso mehr, je niederohmiger dieses aktive Filter 2 ist. Ist der Ohmsche Widerstand dieses aktiven Filters 2 gleich Null, so sinkt die Oberschwingungsspannung $u_{N,5}$ am Verknüpfungspunkt 20 auf Null Volt ab und das aktive Filter 2 nimmt den maximal möglichen Strom auf. Dieses aktive Filter 2 bildet somit einen Kurzschluß beispielsweise für die 5. Oberschwingung am Verknüpfungspunkt 20.

In der Fig. 2 ist der Aufbau der Regeleinrichtung 16 schematisch dargestellt. Diese Regeleinrichtung 16 weist wenigstens einen Netzspannungsverzerrungs-Regler 22, eine Steuereinrichtung 24 zur Verhinderung von unerwünschten Filterströmen $i_{k,vz}$ und einen Gleichspannungs-Regler 26 auf, deren Ausgänge mit einer Summationsstelle 28 verknüpft sind. Der Aufbau des Reglers 22 ist in der Fig. 3 bzw. der Fig. 4 näher dargestellt, wobei die Darstellung gemäß Fig. 4 zusätzlich eine Strombegrenzung aufweist. Der Aufbau der Steuereinrichtung 24 ist in der Fig. 5 und der Aufbau des Gleichstrom-Reglers 26 in der Fig. 6 näher dargestellt. Dem Netzspannungsverzerrungs-Regler 22, der auch als Oberschwingungs-Regler bezeichnet wird, ist ein ermittelter Netzspannungs-Raumzeiger u_N zugeführt. Ist dieser Oberschwingungs-Regler 22 gemäß Fig. 4 ausgestaltet, so ist außerdem ein ermittelter Filterstrom-Raumzeiger $i_{k,vz}$ und ein maximaler Stromrichter-Effektivstromwert I_{max} zugeführt, wobei diese beiden Signale i_k und I_{max} mittels einer unterbrochenen Linie hier dargestellt sind. Am Ausgang dieses Oberschwingungs-Reglers 22 steht ein Teilübertragungsverhältnis-Raumzeiger u_{vz} an. Der Index v mit $v = 5, 7, 11, \dots$ steht für die Ordnungszahl einer Oberschwingung, wobei der Index + bzw. - das Mit- bzw. das Gegensystem kennzeichnen. Für das dargestellte Beispiel gemäß Fig. 1 ist $v = 5$, wobei diese 5. Oberschwingung im Gegensystem auftritt, so daß als zweiter Index - erscheint. Der Teilübertragungsverhältnis-Raumzeiger u_{vz} lautet dann u_{-5} . Der Steuereinrichtung 24 sind ein ermittelter Netzspannungs-Raumzeiger u_N und ein Zwischenkreis-Spannungs-Istwert V_{dc} zugeführt. Am Ausgang steht ebenfalls ein Teilübertragungsverhältnis-Raumzeiger u_h an. Dem Gleichspannungs-Regler 26 sind der ermittelte Filterstrom-Raumzeiger $i_{k,vz}$, der ermittelte Zwischenkreis-Spannungs-Istwert V_{dc} und ein vorbestimmter Zwischenkreis-Spannungs-Sollwert $V_{dc,soll}$

5 zugeführt. Am Ausgang steht ebenfalls ein Teilübertragungsverhältnis-Raumzeiger u_{de} an. Mittels der Summationsstelle 28 werden diese Teilübertragungsverhältnis-Raumzeiger u_{vz}, u_h und u_{de} zu einem Gesamtübertragungsverhältnis-Raumzeiger u addiert, aus dem anschließend mit Hilfe des Pulsweltenmodulators 18 Steuersignale S_1, \dots, S_6 für den Pulstromrichter 4 generiert werden.

In Fig. 3 ist der Aufbau des Oberschwingungs-Reglers 22 näher dargestellt. Dieser Oberschwingungs-Regler 22 weist eingangsseitig eine Identifizierungs-Einrichtung 30 zur Ermittlung einer komplexen Amplitude $u_{N,vz}$ einer im Netz 14 vorhandenen Netzspannungsverzerrung $u_{N,vz}$ mit nachgeschaltetem I-Regler 32 und ausgangsseitig elektrisch in Reihe geschaltete Multiplizierer 34 und 36 auf. Die Identifizierungs-Einrichtung 30 weist einen komplexen Multiplizierer 38 mit nachgeschaltetem Mittelwert-Bildner 40 auf, wobei ein Eingang dieses komplexen Multiplizierers 38 mit einem Ausgang eines Einheits-Raumzeiger-Bildners 42 verknüpft ist. Am zweiten Eingang dieses Multiplizierers 38 steht der Netzspannungs-Raumzeiger u_N an.

15 25 Aus dem am Ausgang des Multiplizierers 38 anstehenden Produkt wird mittels des Mittelwert-Bildners 40 bezüglich einer Netzperiode T eine komplexe Amplitude $u_{N,vz}$ einer v-ter Netzverzerrungsspannung $u_{N,vz}$ gebildet. Am Ausgang des Einheits-Raumzeiger-Bildners 42 steht ein konjugiert 30 35 komplexer Einheits-Raumzeiger e^* an, der im Mitsystem mit einer Winkelgeschwindigkeit $+v\omega$ und im Gegensystem mit einer Winkelgeschwindigkeit $-v\omega$ umläuft, wobei ω die Drehfrequenz des Netzspannungs-Grundschwingungs-Raumzeigers $u_{N,1+}$ ist. Durch die Mittelwertbildung über 35 die Netzperiode T wird aus dem Produkt von Netzspannungs-Raumzeiger u_N und konjugiert komplexen Einheits-Raumzeiger e^* die komplexe Amplitude $u_{N,vz}$ der entsprechenden Netzspannungsverzerrung $u_{N,vz}$ gebildet.

Das Ausgangssignal des I-Reglers 32 wird mittels des 40 Multiplizierers 34 mit einer imaginären Einheit $+j$ multipliziert. Das am Ausgang dieses Multiplizierers 34 anstehende Produkt wird mittels des nachgeschalteten Multiplizierers 36 mit einem Einheits-Raumzeiger e multipliziert, das am Ausgang eines weiteren Einheits-Raumzeiger-Bildners 44 ansteht. Das Produkt dieser Multiplikation ist ein Teilübertragungsverhältnis-Raumzeiger u_{vz} . Der I-Regler 32 verändert den Betrag und den Winkel des Teilübertragungsverhältnis-Raumzeiger u_{vz} dann solange, bis die entsprechende Netzverzerrungsspannung $u_{N,vz}$ v-ter Ordnungszahl im Netzspannungs-Raumzeiger u_N eliminiert ist.

45 55 Die Aufgabe dieses Oberschwingungs-Reglers 22 ist zunächst, die Amplitude einer Netzverzerrung $u_{N,vz}$ aus der Netzspannung u_N zu identifizieren und daraus einen entsprechenden Teilübertragungsverhältnis-Raumzeiger u_{vz} zu generieren, der einen Filterstrom $i_{k,vz}$ bewirkt, der durch dessen Spannungsabfall an den Netzimpedanzen R_{N1}, L_{N1} und R_{N2}, L_{N2} die Netzspannungsverzerrung $u_{N,vz}$ in der Netzspannung u_N verschwinden läßt. Damit wirkt das aktive Filter 2 für diese Verzerrungsspannung $u_{N,vz}$ am Verknüpfungspunkt 20 wie ein Kurzschluß. Zur Identifizierung einer komplexen Amplitude $u_{N,vz}$ einer im Netz 14 vorhandenen Verzerrungsspannung $u_{N,vz}$ wird mittels einer diskreten komplexen Fouriertransformation, die in der Identifizierungs-Einrichtung 30 verwirklicht wird, verwendet. Zu 60 65 diesem Zweck wird in Anbetracht der Darstellung gemäß Fig. 1 der Netzspannungs-Raumzeiger u_N mit einem konjugiert komplexen Einheits-Raumzeiger e^* multipliziert, dessen Winkelgeschwindigkeit 5ω ist, und dann einem glei-

tenden Mittelwertfenster zugeführt. Im Falle einer Mitsystem-Oberschwingung muß der konjugiert komplexen Einheits-Raumzeiger \underline{e}^* die Winkelgeschwindigkeit $-v\omega$ haben. Das Ausgangssignal des I-Reglers 32 wird um $+90^\circ$ (Multiplikation mit $+j$) gedreht und mit einem in Gegensystemrichtung drehenden Einheits-Raumzeiger \underline{e} mit der Winkelgeschwindigkeit -5ω multipliziert. Im Falle einer Mitsystem-Oberschwingung muß das Ausgangssignal des I-Reglers 32 um -90° gedreht werden (Multiplikation mit $-j$) und mit einem in Mitsystemrichtung drehenden Einheits-Raumzeiger \underline{e} mit einer Winkelgeschwindigkeit $+v\omega$ multipliziert werden.

Der I-Regler 32 ändert seinen Ausgang solange, bis das Gegensystem 5. Ordnung im Netzspannungs-Raumzeiger \underline{u}_N verschwunden ist.

Die Fig. 4 zeigt den Aufbau eines Oberschwingungs-Reglers 22, der mit einer Strombegrenzungs-Einrichtung 46 versehen ist. Diese Strombegrenzungs-Einrichtung 46 weist einen Stromregelkreis 48, einen Multiplizierer 50 und eine Einrichtung 52 zur Bildung eines Filterstrom-Spitzenwertes i_K auf. Der Stromregelkreis 48 besteht aus einem Vergleicher 54 und einem PI-Regler 56, der ausgangsseitig einseitig begrenzt und mit einem Eingang des Multiplizierers 50 verbunden ist. Der nicht-invertierende Eingang dieses Vergleichers 54 ist mit dem Ausgang der Einrichtung 52 verknüpft, an deren Eingang ein ermittelter Filterstrom-Raumzeiger $\underline{i}_{K,v}$ ansteht. Am invertierenden Eingang des Vergleichers 54 steht ein Filterstrom-Spitzenwert $i_{K,0}$ an, der in Abhängigkeit eines Stromrichter-Effektivstromwertes I_{max} angegeben ist. Die Einrichtung zur Bildung des Filterstrom-Spitzenwertes i_K weist einen Betrags-Bildner 58 und einen Mittelwert-Bildner 60 auf, der dem Betrags-Bildner 58 nachgeschaltet ist. Am Ausgang des Vergleichers 54 steht eine Abweichung des Filterstrom-Spitzenwertes i_K von seinem Sollwert $i_{K,0}$ an, aus dem mittels des PI-Reglers 56 eine Stellgröße VP generiert wird. Diese Stellgröße VP wird mit der Ausgangsgröße des I-Reglers 32 multipliziert und einem invertierenden Eingang eines weiteren Vergleichers 62 zugeführt, an dessen nichtinvertierenden Eingang der Ausgang des Mittelwertbildners 40 der Identifizierungs-Einrichtung 30 und an dessen Ausgang der Eingang des I-Reglers 32 angeschlossen sind.

Durch diese dargestellte Ankopplung der Strombegrenzungseinrichtung 46 wird aus dem I-Regler 32 des Oberschwingungs-Reglers 22 ein PI-Regler. Durch die Stellgröße VP wird im Überstromfall die Gegenkopplung des Oberschwingungs-Reglers 22 solange erhöht, bis der Pulsstromrichter 4 an seiner Stromgrenze arbeitet. Damit arbeitet das aktive Filter 2 in dieser Betriebsart immer wie der minimal mögliche Ohmsche Widerstand. Um zu verhindern, daß die Stellgröße VP negativ wird, d. h. aus der Gegenkopplung wird dann eine Mitkopplung, ist eine Begrenzung des PI-Reglers 56 nach unten hin auf Null notwendig.

Reicht der zulässige Pulsstromrichterstrom i_K nicht aus, um eine v-te Oberschwingung $\underline{u}_{N,v}$ im Netzspannungs-Raumzeiger \underline{u}_N zu eliminieren, so sorgt die Strombegrenzungs-Einrichtung 46 dafür, daß der Filterstrom $\underline{i}_{K,v}$ in Phase zur Netzspannungsverzerrung $\underline{u}_{N,v}$ ist und der Pulsstromrichter 4 immer an der Stromgrenze arbeitet. Damit wirkt das aktive Filter 2 am Verknüpfungspunkt 20 für die zu bedämpfende Oberschwingung stets wie der kleinste mögliche Ohmsche Widerstand. Bei mehr als einer aktiv zu filternden Oberschwingung werden für jede zu filternde Oberschwingung ein Oberschwingungs-Regler 22 benötigt, die jeweils einen Teilübertragungsverhältnis-Raumzeiger $\underline{u}_{v,i}$ in der hier beschriebenen Art und Weise berechnen.

Die Fig. 5 zeigt den Aufbau der Steuereinrichtung 24, die eine Einrichtung 64 zur Bildung eines Netzspannungs-

Grundschwingungs-Mitsystem-Raumzeigers $\underline{u}_{N,1+}$ einen Subtrahierer 66 und einen Multiplizierer 68, der dem Subtrahierer 66 nachgeschaltet ist, auf. Am Eingang der Einrichtung 64 steht der ermittelte Netzspannungs-Raumzeiger \underline{u}_N , der ebenfalls am ersten Eingang des Subtrahierers 66 ansteht. Der zweite Eingang des Multiplizierers 68 ist mit einem Ausgang eines Reziprok-Bildners 70 verknüpft, an dessen Eingang ein ermittelter Zwischenkreis-Spannungs-Istwert V_{dc} ansteht. Am Ausgang dieses Multiplizierers 68 steht der Teilübertragungsverhältnis-Raumzeiger \underline{u}_h an.

Die Einrichtung 64 zur Ermittlung eines Netzspannungs-Grundschwingungs-Mitsystem-Raumzeigers $\underline{u}_{N,1+}$ weist eingangs- und ausgangsseitig jeweils einen komplexen Multiplizierer 72 und 74 auf, die mittels eines Mittelwert-Bildners 76 miteinander verknüpft sind. Außerdem sind zwei Einheits-Raumzeiger-Bildner 78 und 80 vorhanden, die jeweils einen Raumzeiger \underline{e}^* und \underline{e} generieren, die gegengläufig mit derselben Frequenz ω rotieren. Am Ausgang dieser Einrichtung 64 steht dann ein Netzspannungs-Grundschwingungs-Mitsystem-Raumzeiger $\underline{u}_{N,1+}$, an der mittels des Subtrahierers 66 vom Netzspannungs-Raumzeiger \underline{u}_N subtrahiert wird. Als Ergebnis erhält man alle in der Netzspannung \underline{u}_N vorhandenen Verzerrungsspannung $\underline{u}_{N,v}$. Nach Multiplikation mit dem Reziprokwert des Zwischenkreis-Spannungs-Istwertes V_{dc} ergibt sich der Teilübertragungsverhältnis-Raumzeiger \underline{u}_h . Dieser Teilübertragungsverhältnis-Raumzeiger \underline{u}_h bewirkt den gleichen Verzerrungsanteil $\underline{u}_{K,v}$ in der Pulsstromrichter-Ausgangsspannung \underline{u}_K , so daß keine unerwünschten Verzerrungsströme $\underline{i}_{K,v}$ in das aktive Filter 2 fließen. Somit wird das aktive Filter 2 nur mit einem gewünschten Filterstrom $\underline{i}_{K,v}$ beliefert.

In der Fig. 6 ist der Aufbau des Gleichspannungs-Reglers 26 näher dargestellt. Dieser Gleichspannungs-Regler 26 weist eingangsseitig eine Einrichtung 82 zur Ermittlung eines Filterstrom-Grundschwingungs-Mitsystem-Raumzeigers $\underline{i}_{K,1+}$ und ausgangsseitig zwei elektrisch in Reihe geschaltete Multiplizierer 84 und 86 auf. Außerdem weist dieser Gleichspannungs-Regler 26 einen Zwischenkreis-Spannungs-Regelkreis 88 und einen Reziprok-Bildner 90 auf. Der Ausgang des Zwischenkreis-Spannungs-Regelkreises 88 ist mit einem zweiten Eingang des Multiplizierers 84 verknüpft, wogegen der Ausgang des Reziprok-Bildners 90 mit einem zweiten Eingang des Multiplizierers 86 verknüpft ist. Am Ausgang des Multiplizierers 86 steht ein Teilübertragungsverhältnis-Raumzeiger \underline{u}_{dc} an.

Der Zwischenkreis-Spannungs-Regelkreis 88 besteht aus einem Vergleicher 92 und einem PI-Regler 94. Der invertierende Eingang des Vergleichers 92 ist mit einem Ausgang eines Verzögerungsglied 96 erster Ordnung verbunden, an dessen Eingang und am Eingang des Reziprok-Bildners 90 der ermittelte Zwischenkreis-Spannungs-Istwert V_{dc} ansteht. Am nichtinvertierenden Eingang des Vergleichers 92 steht ein vorbestimmter Zwischenkreis-Spannungs-Sollwert $V_{dc,soll}$ an.

Die Einrichtung 82 zur Ermittlung eines Filterstrom-Grundschwingungs-Mitsystem-Raumzeigers $\underline{i}_{K,1+}$ ist identisch zur Einrichtung 64 zur Ermittlung eines Netzspannungs-Grundschwingungs-Mitsystem-Raumzeigers $\underline{u}_{N,1+}$ aufgebaut, so daß an dieser Stelle nicht mehr näher darauf eingegangen werden muß. Diese Einrichtung 82 ermittelt die Grundschwingung des Filterstromes $\underline{i}_{K,1}$, die hauptsächlich durch die Netzspannungs-Grundschwingung $\underline{u}_{N,1+}$ und die Impedanz der LC-Schwingkreis-Ankopplung 12 für die Grundschwingung bestimmt wird.

Der Zwischenkreis-Spannungs-Regelkreis 88 vergleicht den geglätteten Zwischenkreis-Spannungs-Istwert V_{dc} mit seinem Sollwert $V_{dc,soll}$ und führt die Regelabweichung ΔV_{dc}

dem PI-Regler 94 zu. Um den Zwischenkreis-Spannungs-Istwert V_{dc} anzuheben, muß der Pulsstromrichter 4 netzseitig eine Grundschwingungsspannung $u_{k,1+}$ in Phase zum durch die LC-Schwingkreis-Ankopplung 12 fließenden Grundschwingungsstrom $i_{k,1+}$ erzeugen. Da die Netzspannung-Grundschwingung $u_{N,v+}$ viel größer sein wird als die Pulsstromrichter-Ausgangsspannungs-Grundschwingung $u_{k,1+}$, kann der Grundschwingungsstrom $i_{k,1+}$ durch die LC-Schwingkreis-Ankopplung 12 zunächst als Strom einer Stromquelle betrachtet werden. Der Filterstrom-Grundschwingungs-Mitsystem-Raumzeiger $i_{k,1+}$ wird analog zum Netzspannung-Grundschwingung-Mitsystem-Raumzeiger $u_{N,1+}$ über eine komplexe Fourieranalyse ermittelt und anschließend rücktransformiert. Nach der Rücktransformation wird durch die Multiplikation der Ausgangsgröße V_{dcy} des Zwischenkreis-Spannungs-Regelkreises 88 mit dem Filterstrom-Grundschwingungs-Mitsystem-Raumzeiger $i_{k,1+}$ der Pulsstromrichter-Ausgangsspannungs-Grundschwingungs-Mitsystem-Raumzeiger $u_{k,1+}$ berechnet, der mit dem Reziprokwert des Zwischenkreis-Spannungs-Istwertes V_{dc} den Teilübertragungsverhältnis-Raumzeiger \underline{U}_{dc} ergibt.

Weicht nun der Zwischenkreis-Spannungs-Istwert V_{dc} von seinem Sollwert $V_{dc,soll}$ ab, so wird der Teilübertragungsverhältnis-Raumzeiger \underline{U}_{dc} erzeugt, der bei zu kleinem Zwischenkreis-Spannungs-Istwert V_{dc} gleichphasig und bei zu großem Zwischenkreis-Spannungs-Istwert V_{dc} gegenphasig zum Filterstrom-Grundschwingungs-Mitsystem-Raumzeiger $i_{k,1+}$ ist. Dies hat einen Pulsstromrichter-Ausgangsspannungs-Grundschwingungs-Mitsystem-Raumzeiger $u_{k,1+}$ zur Folge, wodurch dem kapazitiven Speicher 6 Energie zugeführt oder entzogen wird und damit der Zwischenkreis-Spannungs-Istwert V_{dc} auf einen Zwischenkreis-Spannungs-Sollwert $V_{dc,soll}$ geregelt wird.

Mittels diesem erfindungsgemäßen Verfahren für einen Pulsstromrichter 4 eines aktiven Filters 2 mit einer LC-Schwingkreis-Ankopplung 12 wird erreicht, daß das aktive Filter 2 am Verknüpfungspunkt 20 für die zu bedämpfenden Oberschwingungen wie ein komplexer Widerstand mit geringer Impedanz wirkt, wodurch dieses aktive Filter 2 als 40 Senke für die in der Nachbarschaft angeschlossenen Oberschwingungsverzeiger dient. Dabei verhält sich das aktive Filter 2 wie ein Ohmscher Widerstand, wodurch die Oberschwingungen bedämpft werden. Dadurch lassen sich Resonanzeffekte zwischen dem aktiven Filter 2 und dem Netz 14 45 vermeiden. Dieses erfindungsgemäße Verfahren ist nicht nur auf einen Pulsstromrichter 4 eines aktiven Filters 2 mit einer LC-Schwingkreiskopplung 12 beschränkt, sondern läßt sich auch auf andere Ankoppelvarianten einfach übertragen.

50

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kompensation von in einem Netz (14) auftretenden Netzspannungsverzerrungen ($u_{N,v+}$) mittels eines Pulsstromrichter (4) mit kapazitivem Speicher (6) und einer LC-Schwingkreis-Ankopplung (12) aufweisenden aktiven Filters (2) mit folgenden Verfahrensschritten:

a) Ermittlung wenigstens einer komplexen Amplitude ($u_{N,v+}$) einer im Netz (14) vorhandenen Netzspannungsverzerrung ($u_{N,v+}$)

b) Erzeugung eines Teilübertragungsverhältnis-Raumzeigers (\underline{U}_{v+}) in Abhängigkeit dieser ermittelten komplexen Amplitude ($u_{N,v+}$) derart, daß diese zu Null wird.

c) Ermittlung von im Netz (14) auftretenden Netzspannungsverzerrungen ($u_{N,v+}$) in Abhängigkeit eines ermittelten Spannungs-Raumzeigers

($u_{N,v+}$) und eines Netzspannungs-Grundschwingungs-Mitsystem-Raumzeigers ($u_{N,v+}$);

d) Bestimmung eines Teilübertragungsverhältnis-Raumzeigers (\underline{U}_{v+}) in Abhängigkeit dieser Netzspannungsverzerrungen ($u_{N,v+}$) und einer Zwischenkreis-Spannung (V_{dc}) des Pulsstromrichters (4) und

e) Generierung von Steuersignalen (S_1, \dots, S_6) für den Pulsstromrichter (4) aus einem aus den Teilübertragungsverhältnis-Raumzeigern ($\underline{U}_{v+}, \underline{U}_{h+}$) gebildeten Gesamtübertragungsverhältnis-Raumzeiger (\underline{U}).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei

f) ein Filterstrom-Grundschwingungs-Mitsystem-Raumzeiger ($i_{k,1+}$) aus einem ermittelten Filterstrom-Raumzeiger (i_k) bestimmt wird,

g) eine Zwischenkreis-Spannungs-Abweichung (ΔV_{dc}) eines ermittelten Zwischenkreis-Spannungs-Istwertes (V_{dc}) von einem vorbestimnten Zwischenkreis-Spannungs-Sollwert ($V_{dc,soll}$) ermittelt wird,

h) eine Zwischenkreis-Stellgröße (V_{dcy}) derart generiert wird, daß diese ermittelte Zwischenkreis-Spannungs-Abweichung (ΔV_{dc}) zu Null wird,

i) durch Multiplikation des Filterstrom-Grundschwingungs-Mitsystem-Raumzeigers ($i_{k,1+}$) mit der Zwischenkreis-Stellgröße (V_{dcy}) ein Pulsstromrichter-Ausgangsspannungs-Grundschwingungs-Mitsystem-Raumzeiger ($u_{k,1+}$) bestimmt wird, und

j) wobei in Abhängigkeit dieses Pulsstromrichter-Ausgangsspannungs-Grundschwingungs-Mitsystem-Raumzeigers ($u_{k,1+}$) und des Zwischenkreis-Spannungs-Sollwertes ($V_{dc,soll}$) ein Teilübertragungsverhältnis-Raumzeiger (\underline{U}_{dc}) generiert wird, der dem Gesamtübertragungsverhältnis-Raumzeiger (\underline{U}) überlagert wird.

3. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 für ein aktives Filter (2), das einen Pulsstromrichter (4) mit einem kapazitiven Speicher (6) und einer Regel- und Steuereinrichtung (10) und eine LC-Schwingkreis-Ankopplung (12) aufweist, wobei diese Regel- und Steuereinrichtung (10) eine Regeleinrichtung (16) zur Bestimmung eines Gesamtübertragungsverhältnis-Raumzeiger (\underline{U}) mit einem nachgeschalteten Pulsweitenmodulator (18) aufweist, an dessen Ausgängen Steuersignale (S_1, \dots, S_6) des Pulsstromrichters (4) anstehen, und wobei diese Regelteinrichtung (16) wenigstens einen Netzspannungsverzerrungs-Regler (22) und eine Steuereinrichtung (24) zur Verhinderung von unerwünschten Filterströmen aufweist, deren Ausgänge mit einer Summationsstelle (28) verknüpft sind und an deren Eingängen jeweils ein ermittelter Netzspannungs-Raumzeiger (\underline{U}_N) ansteht.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei die Regelteinrichtung (16) einen Gleichspannungs-Regler (26) aufweist, der ausgangsseitig mit der Summationsstelle (28) verknüpft ist und an deren Eingängen ein ermittelter Filterstrom-Raumzeiger (i_k), ein ermittelter Zwischenkreis-Spannungs-Istwert (V_{dc}) und ein vorbestimmter Zwischenkreis-Spannungs-Sollwert ($V_{dc,soll}$) anstehen.

5. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei jeder Netzspannungsverzerrungs-Regler (22) eingeschließlich einer Identifizierungs-Einrichtung (30) zur Ermittlung einer komplexen Amplitude ($u_{N,v+}$), einer im Netz (14) vorhandenen Netzspannungsverzerrung ($u_{N,v+}$) mit nachgeschaltetem I-Regler (32) und ausgangsseitig zwei in

Reihen geschaltete Multiplizierer (34, 36) aufweist, die dem I-Regler (32) nachgeschaltet sind, wobei an jedem zweiten Eingang des ersten Multiplizierers (34) eine imaginäre Einheit ($\pm j$) und des zweiten Multiplizierers (36) ein Einheits-Raumzeiger (e) ansteht und wobei an den Eingängen der Identifizierungs-Einrichtung (30) der Netzspannungs-Raumzeiger (u_N) und ein konjugiert komplexer Einheits-Raumzeiger (e^*) anstehen, wobei die Einheits-Raumzeiger (e^*), (e) mit der Frequenz (ω) der Netzspannungsverzerrung (10) (u_{N,ν_2}) gegenläufig rotieren.

6. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei die Steuereinrichtung (24) eine Einrichtung (64) zur Ermittlung eines Netzspannungs-Grundschwingungs-Mitsystem-Raumzeigers ($u_{N,1+}$) aufweist, der einen Vergleicher (66) mit nachgeschaltetem Multiplizierer (68) nachgeschaltet ist, wobei ein Netzspannungs-Raumzeiger (u_N) am Eingang der Einrichtung (64) und am nichtinvertierenden Eingang des Vergleichers (66) ansteht und wobei der zweite Eingang des Multiplizierers (68) mit einem Ausgang eines Reziprok-Bildners (70) verknüpft ist, an dessen Eingang ein Zwischenkreis-Spannungs-Istwert (V_{dc}) ansteht.

7. Vorrichtung nach Anspruch 4, wobei der Gleichspannungs-Regler (26) eingangsseitig eine Einrichtung (82) zur Ermittlung eines Filterstrom-Grundschwingungs-Mitsystem-Raumzeigers ($i_{K,1+}$), der ein Multiplizierer (84) nachgeschaltet ist, und einen Zwischenkreis-Spannungs-Regelkreis (88) und ausgangsseitig einen Multiplizierer (86) aufweist, dessen zweiter Eingang mit einem Ausgang eines Reziprok-Bildners (90) verknüpft ist, und wobei der Ausgang des Zwischenkreis-Spannungs-Regelkreises (88) mit dem zweiten Eingang des nachgeschalteten Multiplizierers (84) verknüpft ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, wobei die Einrichtung (64, 82) zur Ermittlung eines Grundschwingungs-Mitsystem-Raumzeigers ($u_{N,1+}, i_{K,1+}$) eine Identifizierungs-Einrichtung zur Ermittlung einer komplexen Amplitude ($u_{N,1+}, i_{K,1+}$) eines Grundschwingungs-Mitsystem-Raumzeigers ($u_{N,1+}, i_{K,1+}$) mit nachgeschaltetem Multiplizierer (74) aufweist, wobei an den Eingängen der Identifizierungs-Einrichtung ein ermittelter Raumzeiger (u_N, i_K) und ein konjugiert komplexer Einheits-Raumzeiger (e^*) und am zweiten Eingang des Multiplizierers (74) ein Einheits-Raumzeiger (e) anstehen, wobei diese Einheits-Raumzeiger (e^*, e) mit der Grundschwingungsfrequenz (ω) der ermittelten Raumzeiger (u_N, i_K) gegenläufig rotieren.

9. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 8, wobei als Identifizierungs-Einrichtung (30) ein komplexer Multiplizierer (38, 72) mit nachgeschaltetem Mittelwertbildner (40, 76) vorgesehen ist, wobei an den Eingängen des komplexen Multiplizierers (38, 72) ein ermittelter Raumzeiger (u_N, i_K) und ein konjugiert komplexer Einheits-Raumzeiger (e^*) anstehen.

10. Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei dem Zwischenkreis-Spannungs-Regelkreis (88) ein Verzögerungsglied (96) erster Ordnung vorgeschaltet ist und dieser Regelkreis (88) einen PI-Regler (94) aufweist, der eingangsseitig mit einem Ausgang eines Vergleichers (92) verknüpft ist, dessen invertierender Eingang mit dem Ausgang dieses Verzögerungsgliedes (96) verbunden ist, und wobei am Eingang dieses Verzögerungsgliedes (96) ein ermittelter Zwischenkreis-Spannungs-Istwert (V_{dc}) und am nichtinvertierenden Eingang des Vergleichers (92) ein vorbestimmter Zwischenkreis-Spannungs-Sollwert $V_{dc,soll}$ anstehen.

11. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei als Regeleinrichtung (16) ein Mikroprozessor vorgesehen ist.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

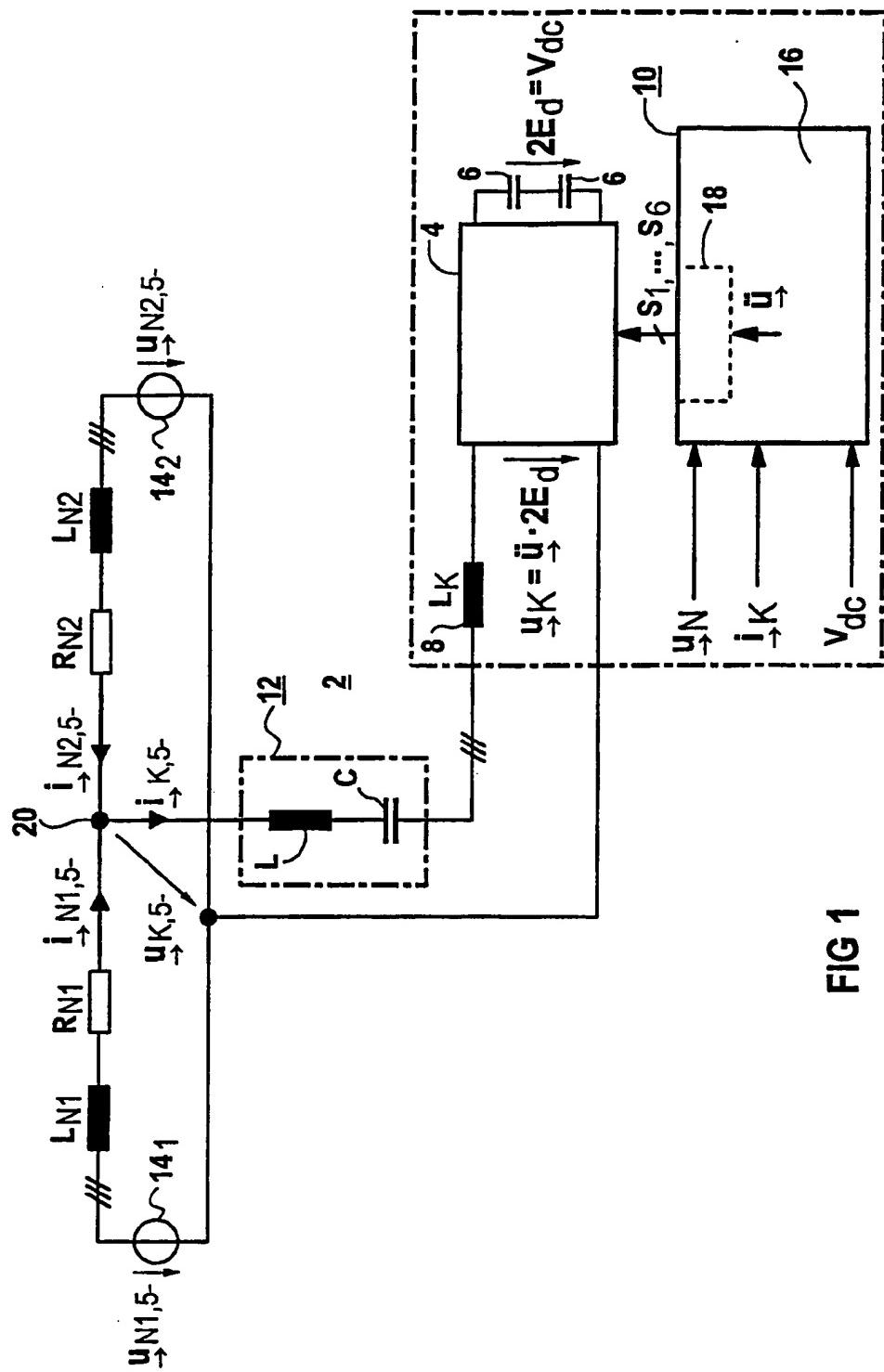


FIG 1

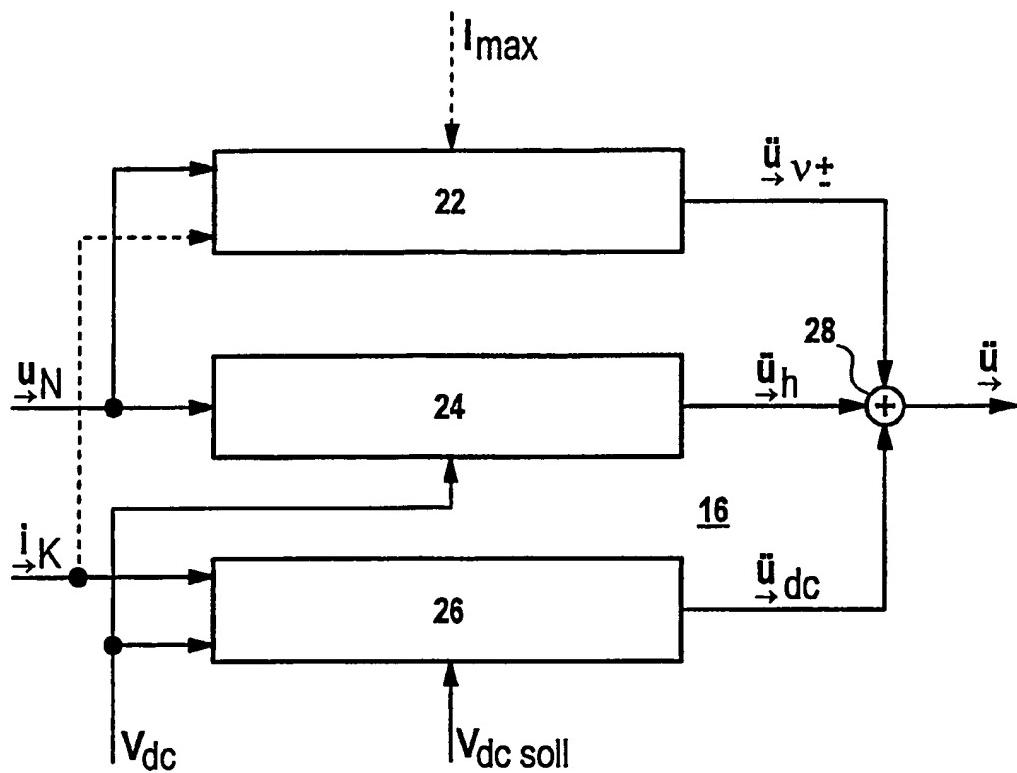


FIG 2

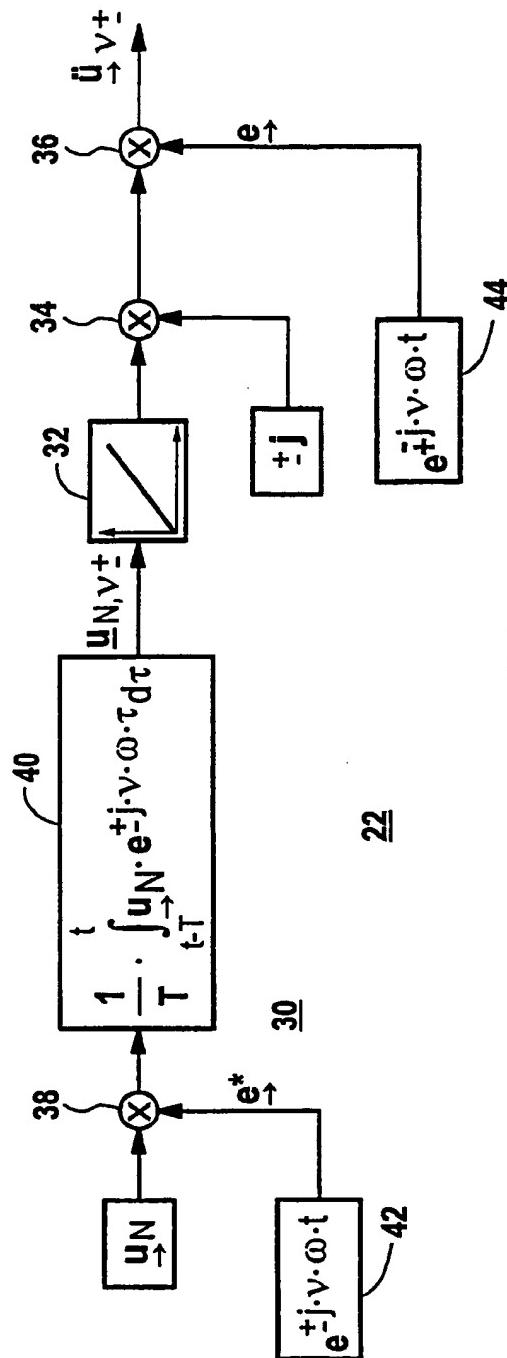


FIG 3

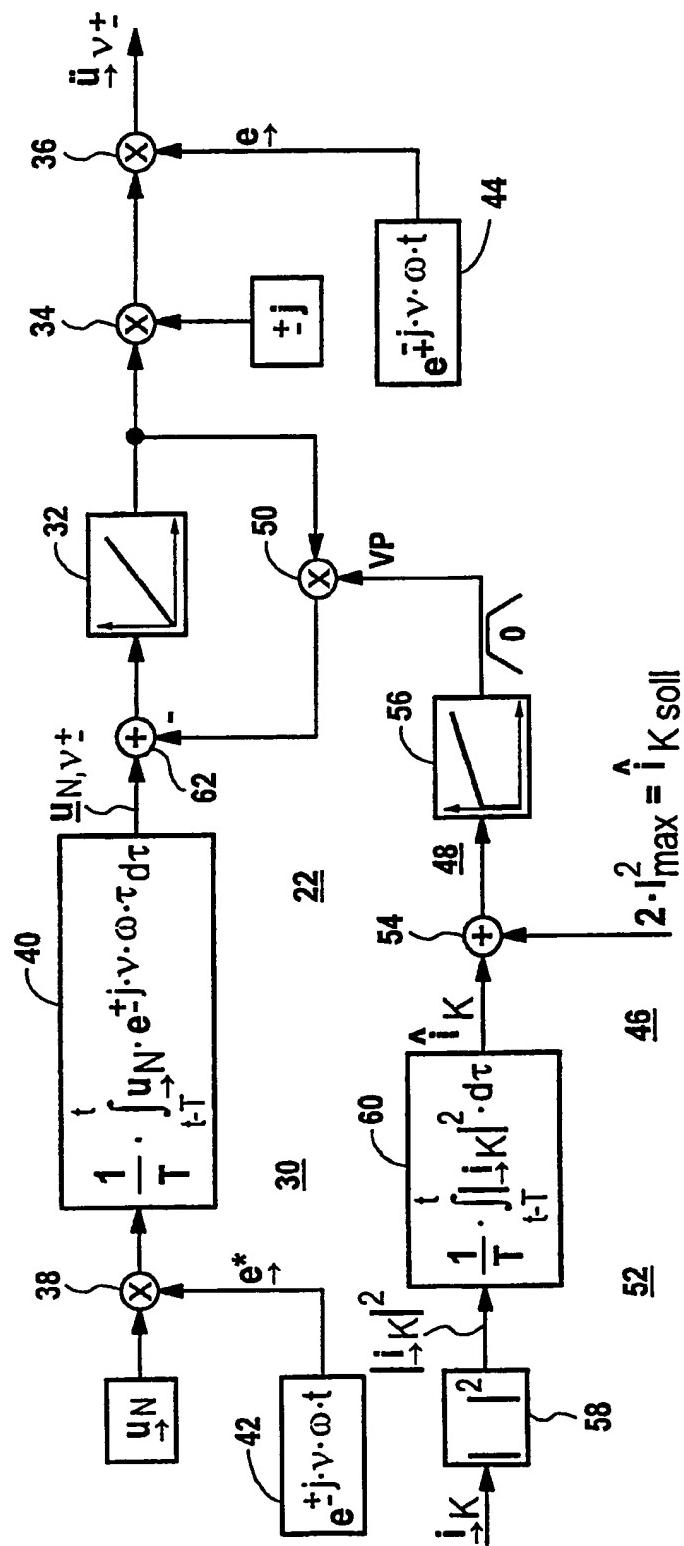


FIG 4

$$|2 \cdot i_{max}^2 = \hat{i}_K_{soll}|$$

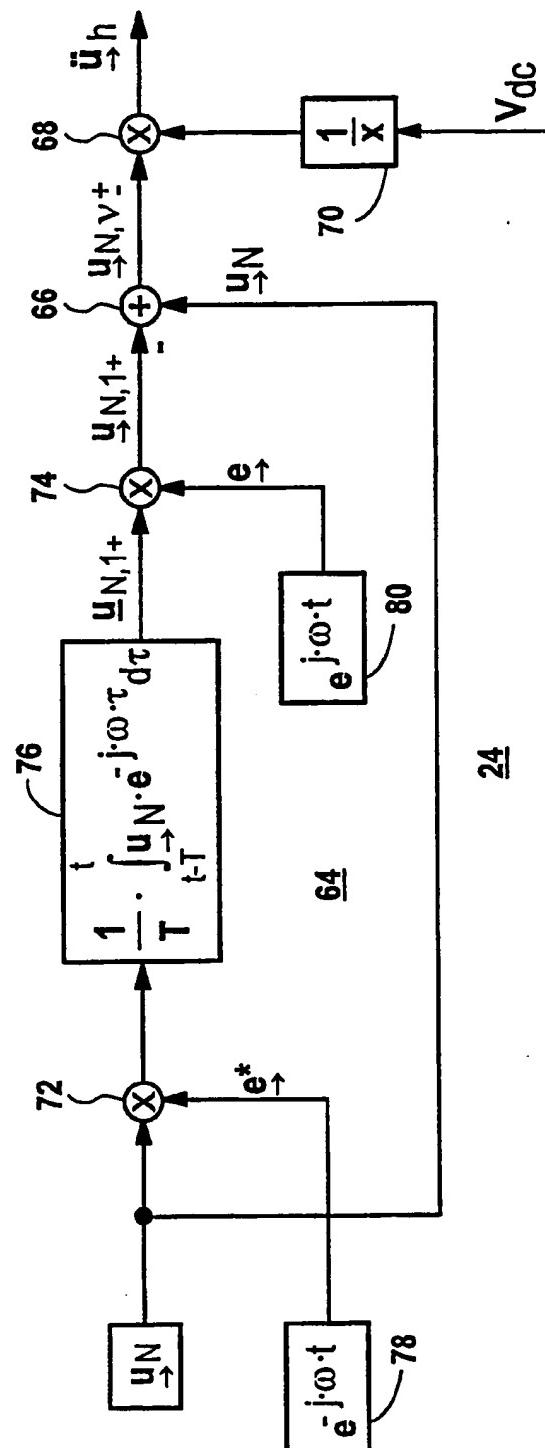


FIG 5

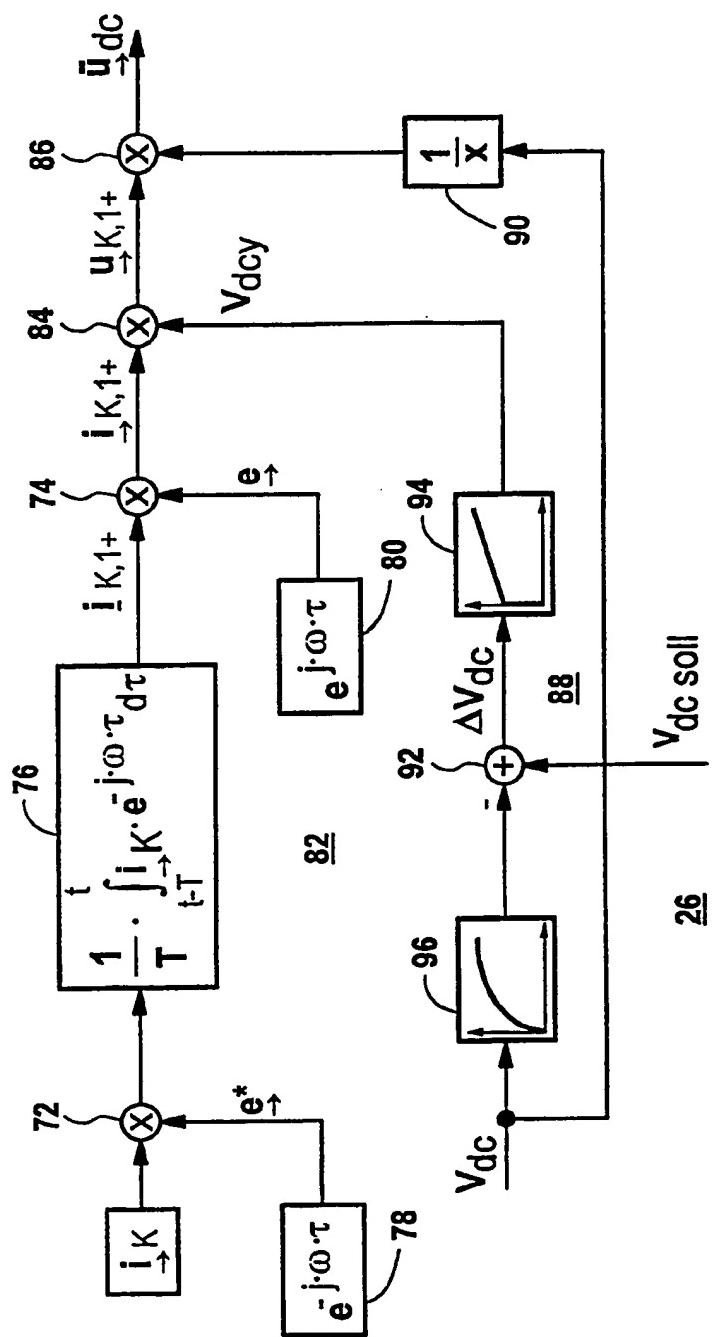


FIG 6

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.